

# L'AGRICULTURE ET L'AGRONOMIE TELLES QUE VOUS NE LES AVEZ JAMAIS VUES

Par M. Jean-Pierre SARTHOU<sup>1</sup>

## Ce que la démographie humaine doit aux révolutions agricoles

Les premières formes d'agriculture, apparues il y a 4 à 10 000 ans selon les endroits de la planète, consistaient à défricher un espace forestier par la hache, la dent des premiers animaux domestiqués et le feu, pour en exploiter pendant quelques années le sol fertile. Une fois la fertilité du sol par trop diminuée par les exportations successives de produits, une nouvelle zone était défrichée et le cycle recommençait avant que le premier emplacement ne soit réutilisé au bout de trois à cinq décennies. Vers 3 000 avant notre ère, la première révolution agricole a permis aux hommes du Néolithique de passer de cette agriculture itinérante dite sur abattis-brûlis, à l'agriculture post-forestière, beaucoup plus sédentaire. Elle consistait à mettre en culture des surfaces (*l'ager*) dont la fertilité du sol était entretenue par le parage nocturne, sur les parcelles en jachère, des animaux ayant pacagé le jour sur des secteurs plus éloignés et donc largement déboisés (le *saltus*). Ainsi, après avoir d'abord mis à contribution le temps et les arbres pour restaurer la fertilité du sol d'une zone ayant été exploitée (par remontée *via* les racines des éléments minéraux lessivés en profondeur), c'est l'espace qui a été peu à peu utilisé pour concentrer ces derniers sur une surface cultivée, ce transfert de fertilité étant assuré par les animaux domestiques. Le passage de l'araire, instrument aratoire à soc pointu sans versoir, venait parfaire le travail de préparation du sol en l'ameublissant et le débarrassant des mauvaises herbes. Cette première révolution agricole entraîna une augmentation modeste de la démographie européenne, passée, en 20 siècles environ, de moins de 5 millions d'individus à une quinzaine. Le fort développement de la sidérurgie vers l'an 1 000 de notre ère fit le lit de la deuxième révolution agricole car il profita largement aux paysans. Les chariots et les charrettes, jusque-là réservés aux armées et riches commerçants, leur devenaient en effet enfin accessibles. Deux inventions majeures s'ajoutèrent à cela, complétant parfaitement les moyens de travail nouvellement à disposition des paysans : la faux, inventée quelque part en Europe centrale et permettant de décupler les surfaces fauchées dans la journée et donc les quantités de foin réalisées, et la charrue à versoir, outil parfait pour incorporer au sol le fumier désormais plus abondant, puisque davantage d'animaux pouvaient être nourris et donc gardés en hiver, et plus aisément transporté jusqu'aux champs. Cette deuxième révolution entraîna en Europe, en quelques décennies seulement, une forte

---

1 Communication présentée à l'Académie des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse à la séance du 24 mars 2022.

augmentation de la force de travail et des surfaces cultivées, et permit l'introduction des céréales de printemps et l'apparition de la rotation triennale. Toutefois, la jachère occupait encore les deux tiers de celle-ci. En trois siècles seulement, la population européenne, mieux nourrie, avait été multipliée par 7 et avoisinait les 100 millions d'habitants quand les guerres et la peste bubonique provoquèrent, au XIV<sup>e</sup> siècle, son effondrement de presque 50 %. La troisième révolution agricole s'est étalée sur une plus longue période, probablement du fait qu'elle dépendait de déterminants socio-économiques plus complexes à mettre en place et plus coûteux. Elle démarra à la Renaissance, en Flandres et en Angleterre, et se poursuivit jusqu'au début de la révolution industrielle dans les autres pays, voire au début du XX<sup>e</sup> siècle pour les pays du sud de l'Europe. Elle fut caractérisée par des inventions majeures en machinisme agricole (dont les principes de base sont encore ceux de la plupart des machines modernes : charrue réversible, barre de coupe à sections, semoirs volumétriques...) et par l'introduction de plantes fourragères (fabacées, brassicacées) en lieu et place de la jachère, réduite de ce fait à 15 % seulement de la rotation. S'en sont suivies la première crise mondiale de surproduction agricole, par quasi-doublement de toutes les productions, et, de nouveau, une augmentation sensible de la population européenne, atteignant les 180 millions d'habitants. Enfin, aux lendemains de la Seconde Guerre Mondiale, des améliorations spectaculaires (plus que des inventions) en machinisme, sélection génétique, maîtrise des facteurs de croissance des animaux et végétaux (eau, engrais, produits phytosanitaires), ont caractérisé la quatrième révolution agricole du continent européen. Sa population a de ce fait elle aussi connu une augmentation spectaculaire, franchissant en seulement 50 ans la barre des 700 millions d'habitants. Au niveau mondial, pendant la même période, deux faits soulignent l'importance déterminante qu'a eu l'intensification des techniques agricoles dans cette quatrième révolution, d'ampleur planétaire : la production agricole a été multipliée par 2,5 à partir d'une surface agricole accrue de seulement 20 %, et la surface nécessaire pour produire une quantité donnée de denrées agricoles a diminué de 70 % (*Food and Agriculture Organisation - FAO - 2018*). En France, ces progrès techniques ont permis de passer d'une productivité de 13 quintaux par hectare dans les années 1920 à 70 qx/ha aujourd'hui, de 15 % de la surface agricole utile réservée aux animaux de trait à 0 %, et de 6 habitants nourris par un seul agriculteur à 75. La conséquence démographique fut tout aussi spectaculaire avec une population mondiale passée de 2,5 avant la Seconde Guerre Mondiale à quelque 6 milliards en l'an 2000. Ce rapide aperçu<sup>2</sup> de l'impact des progrès dans la maîtrise technique des systèmes de production agricole sur notre démographie, parallèlement bien-sûr aux progrès dans le domaine médical, amène à considérer qu'aujourd'hui un être humain sur deux sur Terre doit son existence à cette Révolution Verte (Spielman et Pandya-Lorch, 2009).

## **Le visage à double face de l'intensification agricole de type industriel**

### ***Des aspects positifs qui furent rapidement perceptibles***

Cette évolution présente des côtés très positifs : i) baisse de la part du budget des ménages consacrée à l'alimentation (environ 30 % dans les années 1950, autour de

<sup>2</sup> Pour un exposé détaillé, lire « Histoire des agricultures du monde : du néolithique à la crise contemporaine » de M. Mazoyer et L. Roudart, Seuil, 1997.

18 % aujourd'hui), ce qui a permis le développement des loisirs, du tourisme et des équipements personnels « *high-tech* » ; ii) préservation de plus d'un milliard d'hectares d'espaces naturels, qui seraient a priori en culture aujourd'hui si les rendements des céréales étaient restés au niveau de ceux des années 1950 (World Bank, 2017) ; et iii) en corollaire, abaissement à 3 % seulement de la part de l'alimentation des pays développés provenant d'espèces sauvages (Wood et Lenné, 2011). Ainsi, une fraction de l'espace et de la biodiversité au niveau mondial sont aujourd'hui directement épargnés de transformation/destruction à des fins agri-alimentaires. La baisse de la surface agricole alimentaire mondiale nécessaire par habitant, qui était de plus d'1,5 ha dans les années 1950 et de seulement 0,65 ha en 2018, se poursuit de nos jours encore du fait de la fin de la forte croissance des surfaces agricoles mondiales d'une part et de la forte croissance nette de la démographie mondiale (+ 220 000 personnes quotidiennement) d'autre part (FAO, 2020).

Cependant, les moyens employés pour assurer l'alimentation de la population mondiale par intensification « conventionnelle » de la production agricole, c'est-à-dire par utilisation importante d'intrants d'origine industrielle, ont un coût important d'un point de vue énergétique, environnemental et agronomique, et représentent autant d'impasses qu'il convient de dépasser.

### ***Impasses énergétiques***

D'un point de vue énergétique, c'est évidemment au lendemain de la Seconde Guerre Mondiale et en une dizaine d'années seulement, que, dans les pays industriels comme la France, l'énergie culturelle est devenue majoritairement de nature industrielle. L'énergie culturelle est l'énergie qui doit être injectée, sous forme de puissance animale, humaine ou mécanique et d'intrants de toutes natures, dans le système de production afin d'en assurer le fonctionnement et donc la production de denrées. Jusqu'alors à moins de 20 % de nature industrielle (machines, énergies fossiles et électrique, intrants chimiques) et donc à plus de 80 % d'origine biologique (force animale ou humaine et son alimentation - elle représentait même presque 100 % de l'énergie culturelle au début du siècle dernier), l'énergie culturelle a vu sa part biologique fortement se réduire dès le début de la quatrième révolution agricole, pour n'être représentée de nos jours que par l'énergie contenue dans l'alimentation des agriculteurs et travailleurs agricoles. En d'autres termes, la production agricole est passée, en un siècle, de quasi 100 % d'autosuffisance énergétique à quasi 100 % de dépendance aux énergies fossiles et fissiles. Par contre, la quantité, en valeur absolue, d'énergie culturelle investie dans l'acte de production est restée sensiblement la même sur cette même période, soit entre 250 et 300 PJ.

En revanche, une touche positive, qui va à l'encontre des messages colportés par de nombreux écologistes, vient clore ce rapide aperçu du bouleversement du contexte énergétique de l'agriculture : grâce au quasi quadruplement de l'efficacité énergétique des machines par rapport à celle des animaux et des hommes, il y a eu, toujours sur cette période d'un siècle, doublement du taux de retour énergétique de l'agriculture - pour 1 unité d'énergie culturelle investie, 2 étaient récupérées au début du 20<sup>e</sup> siècle contre 4 de nos jours (Harchaoui et Chatzimpiros, 2019).

### ***Impasses environnementales***

Plusieurs problèmes environnementaux résultent de l'intensification industrielle de la production agricole. Le plus visible d'entre eux est la survenue de marées vertes,

désormais fréquentes et massives le long des côtes de tous les pays et continents du monde, exceptée l'Afrique. Elles résultent non seulement de la fuite d'ions nitrate des parcelles cultivées et des élevages intensifs, comme cela est régulièrement rappelé dans les médias (mais aussi des stations d'épuration des zones touristiques côtières !), mais également de phosphates adsorbés par les particules fines de sol emportées dans les cours d'eau par les pluies érosives. Les autorités nord-américaines considèrent même les phosphates comme le véritable facteur limitant de ces marées vertes (car l'azote peut toujours être fixé par des cyanobactéries présentes dans les cours d'eau et les eaux côtières, si elles ont du phosphore et du carbone à disposition), et donc la lutte contre l'érosion du sol comme le levier le plus efficace à mobiliser pour lutter contre les marées vertes. Générant beaucoup de particules organiques en décomposition, elles-mêmes support d'une intense activité microbienne consommatrice d'oxygène dissout, ces marées aboutissent *in fine* à l'asphyxie des zones touchées et donc à l'appauvrissement des écosystèmes marins côtiers, de plus en plus touchés par ces « zones marines mortes » (Diaz et Rosenberg, 2008). Un autre phénomène fortement médiatisé depuis quelques années est la forte charge en pesticides des cours d'eau de la très grande majorité des régions du monde concernées par l'agriculture intensive. En France, 15 à 36 % des échantillons d'eau prélevés en rivières ont une teneur totale en pesticides supérieure à 0,5 µg/l, seuil limite de potabilité de l'eau (Hossard *et al.*, 2017). Problématique proche puisqu'elle en est en partie la cause, la contamination des sols par les pesticides est également préoccupante : dans une récente étude réalisée en France, 100 % des sols analysés contenaient au moins une molécule phytosanitaire, 90 % un cocktail d'au moins un herbicide, un insecticide et un fongicide, alors que de nombreux échantillons provenaient de milieux semi-naturels (haies, prairies) et de parcelles en agriculture biologique (Pelosi *et al.*, 2021). Une campagne inédite au niveau européen a été menée en France en 2018 et 2019, afin de dresser un premier état des lieux national des pesticides dans l'air. Au total, 75 substances actives différentes ont été mises en évidence, dont 32 jugées « prioritaires » par l'ANSES en raison de leurs effets potentiellement cancérogènes ou perturbateurs endocriniens (ANSES, 2020). Victime de cette pollution omniprésente mais aussi de la destruction de ses habitats, la biodiversité subit sa sixième extinction massive dans l'histoire de la Terre, mais la première d'origine humaine. Son érosion est vertigineuse à l'échelle mondiale et l'agriculture industrielle en est la première responsable : quelques dizaines d'espèces disparaissent chaque jour, pour la plupart avant même qu'elles n'aient été décrites (estimations par extrapolation à partir des surfaces forestières tropicales qui disparaissent quotidiennement pour mise en culture), soit à un rythme 100 à 1 000 fois plus rapide que la moyenne des cinq précédentes extinctions massives. Il est attendu que ce rythme soit de 10 000 fois en 2050 (Alkemade *et al.*, 2009), ce qui amènera d'ici quelques décennies à la disparition de 0,5 à 1 million d'espèces dans le monde, dont la moitié des espèces d'oiseaux et de mammifères d'Afrique (IPBES, 2019). Les systèmes de production agricole, particulièrement les plus industrialisés, participent aussi activement au dérèglement climatique, en étant responsables de 24 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) au niveau mondial. Les principaux GES émis par les activités agricoles sont le CO<sub>2</sub>, issu de la combustion des énergies fossiles et de la minéralisation de l'humus des sols, le CH<sub>4</sub>, issu des rizières et de la fermentation entérique des ruminants, et le N<sub>2</sub>O, provenant d'une dénitrification incomplète dans des sols ayant une mauvaise structure en profondeur et une faible activité microbiologique, car trop travaillés et donc trop oxydés, et recevant trop d'azote par rapport aux besoins des plantes. Cette part dans les émissions totales de GES s'élève à 34 % dès lors que l'ensemble du système agri-alimentaire mondial

est considéré. Ce dérèglement climatique provoque, dans les parcelles cultivées, des événements érosifs tant hydriques qu'éoliens, de plus en plus importants et répandus, à mesure que les pluies et sécheresses deviennent de plus en plus intenses et que les sols perdent leur humus et activité microbienne par insuffisance de restitutions organiques et par excès de travail du sol. Ces pertes de sol, c'est-à-dire des particules les plus fines qui sont déterminantes pour leur fertilité et qui terminent leur course dans les mers et océans du globe, s'élèveraient annuellement à 26 milliards de tonnes (Kaiser, 2004). Si l'on pouvait récupérer ce sol et l'étaler sur une épaisseur correspondant à l'épaisseur conventionnelle de la couche arable, soit 30 cm, nous obtiendrions une surface de 7 millions d'ha, soit le quart de la surface agricole utile de la France, soit encore, si le sol était étalé sur la Lune (!) et au bout de seulement 10 ans, une tache circulaire centrale équivalent en proportion à la pupille de l'œil au centre de l'iris. En France, il a été estimé que dans la moitié des anciennes régions administratives, près d'un quart de la surface agricole de chacune est affecté par une érosion annuelle comprise entre 2 et 5 t/ha, et que sur environ 4 % de la SAU française, elle oscille de 10 à plus de 20 t/ha. En Europe, les régions agricoles situées en zone méditerranéenne subissent des taux de perte annuelle de sol allant jusqu'à 50 t/ha (de la Rosa *et al.*, 2000). Pour parachever ce sombre tableau, un sixième des sols agricoles mondiaux ont une espérance de vie inférieure à 100 ans, et un tiers une espérance de vie inférieure à 200 ans (l'espérance de vie correspondant à la durée nécessaire à la perte par érosion de toute la couche arable) (Evans *et al.*, 2020).

### ***Impasses agronomiques***

La production agricole elle-même en arrive à être entravée, dans son fonctionnement purement biophysico-chimique, par les conséquences de son modèle industriel. Les sols de nouveau, pâtiissant de la perte de matière et perdant de ce fait de leur profondeur et de leur fertilité (phénomène aggravé par une baisse consécutive de leur capacité de rétention hydrique), voient les rendements des cultures qu'ils hébergent diminuer de façon proportionnelle à l'intensité de leur érosion annuelle. Ainsi, il a été estimé, toutes cultures confondues, que les rendements chutent de 0,1 % par tonne de sol perdu (den Biggelaar *et al.*, 2003), ce qui, dans les régions françaises les plus affectées par l'érosion (Bretagne, Hauts-de-France, sud Nouvelle-Aquitaine, ouest Occitanie), correspond, sur un pas de 10 ans seulement, à une baisse du potentiel (qui est de 70 quintaux en moyenne) de 2 à 2,5 quintaux, soit 200 à 250 kg/ha. Ainsi, la baisse de la surface agricole alimentaire mondiale par habitant, qui pouvait être jusqu'à maintenant essentiellement perçue de manière positive (car épargnant des surfaces naturelles), risque d'être de plus en plus perçue comme un indicateur inquiétant montrant l'amenuisement de la surface encore disponible par habitant. Le même principe de perte de potentiel de production, mais du fait de la baisse de la teneur moyenne des sols en matière organique stabilisée (c'est-à-dire en humus, dont la minéralisation fournit des éléments nutritifs aux plantes dont les nitrates), est observé pour la quasi-totalité des sols cultivés du monde (Lal, 2009). Cela entraîne une utilisation toujours plus importante d'engrais azotés de synthèse (1 unité d'azote apportée fournissait 60 à 70 unités de céréales dans les années 1960, contre seulement 20 à 30 de nos jours - Ladha *et al.*, 2005), aggravant par là les émissions de CO<sub>2</sub> (environ 1 tonne d'équivalent pétrole, sous forme de gaz naturel, est nécessaire pour la fabrication d'1 tonne d'azote de synthèse) et surtout de N<sub>2</sub>O, dont le pouvoir de réchauffement global est 270 fois supérieur à celui du CO<sub>2</sub>. L'industrialisation des systèmes de culture a également conduit à l'augmentation de la taille moyenne des parcelles et par conséquent à un appauvrissement en habitats

semi-naturels (talus, fossés, chemins, mares..., et surtout haies qui ont été arrachées au rythme de 33 000 km/an en France entre les années 1960 et les années 2000) de même qu'à une simplification des assolements à l'échelle d'un territoire. Cette transformation de la composition et de la configuration des paysages ruraux, devenus plus homogènes, a entraîné une forte diminution de la biodiversité fonctionnelle et particulièrement des populations de pollinisateurs et d'ennemis naturels des ravageurs des cultures, et de leurs services écosystémiques associés (Martin *et al.*, 2019). Les conséquences en sont respectivement une baisse des rendements des cultures à pollinisation entomophile (un déficit de production de 20 % est observé au niveau mondial - Garibaldi *et al.*, 2016) et une augmentation de la dépendance aux traitements insecticides pour réguler les ravageurs (Martin *et al.*, 2019). Cette augmentation de la dépendance aux substances actives « -cides » (herbicides, fongicides, insecticides, molluscicides, rodenticides, nématicides...) du fait de la baisse des régulations biologiques et agronomiques des bioagresseurs (adventices, agents phytopathogènes, ravageurs) consécutivement à l'appauvrissement biotique des agroécosystèmes et à la simplification des assolements et rotations, entraîne l'apparition de résistances chez de plus en plus d'espèces de bioagresseurs. Si les premiers cas sont apparus peu avant ou peu après la Seconde Guerre Mondiale, leur nombre ne cesse d'augmenter et il était par exemple recensé en 2000, plus de 530 espèces de ravageurs résistants à au moins une substance active (Mota-Sanchez *et al.*, 2002). En Argentine, seulement 10 ans après l'introduction des cultures résistantes au glyphosate, apparaissaient les premières mauvaises herbes résistantes à cette molécule, phénomène responsable d'une augmentation finalement non seulement du coût du poste désherbage des cultures mais aussi de la concurrence moyenne qu'elles infligent aux cultures (Aapresid, 2017). Ces différents phénomènes cumulés les uns aux autres aboutissent aujourd'hui en Europe et aux Etats-Unis à un ralentissement net de la progression du rendement des principales cultures, ralentissement proche de la stagnation en France.

### **Le paradigme agroécologique, cinquième révolution agricole ?**

Ainsi, les activités de production agricole conventionnelle font état, à l'échelle mondiale, de signes inquiétants de faiblesse intrinsèque mais aussi de conséquences environnementales qui, à court ou moyen terme, nuisent à leurs propres performances et à leur durabilité. Les démographes nous annoncent une population mondiale de quelque 9 milliards d'habitants à l'horizon 2050, ce qui, traduit en termes alimentaires, signifie que notre espèce *Homo sapiens* aura, en simplement 50 ans (2000 à 2050), produit et consommé autant de nourriture que ce que tous les Hominidés ont récolté, produit et consommé depuis leur apparition, il y a environ 5 millions d'années, jusqu'à l'an 2000. Il apparaît alors comme incontournable d'engager nos systèmes agricoles sur une voie qui pourrait sembler comme étant déjà connue puisque fondée sur les services écosystémiques comme moyens de pourvoir aux bonnes conditions biophysiques de production. Mais en réalité, cette voie doit aller et est potentiellement capable d'aller bien au-delà de ce qu'a connu l'agriculture avant l'avènement massif des fertilisants et pesticides de synthèse au cours du 20<sup>e</sup> siècle. Cette voie est celle de l'agroécologie, donc de l'intensification écologique de l'acte de production agricole. Elle se nourrit d'une part des avancées des recherches à l'interface des sciences agronomiques et écologiques, et d'autre part des savoirs et expériences des agriculteurs et paysans du monde, pour proposer des systèmes de production qui soient durables sur les axes environnemental, agronomique, économique mais aussi social. Cette agriculture est en marche, de plus en

plus de preuves existent sur le terrain, de mieux en mieux expliquées par la recherche scientifique.

## Bibliographie

AAPRESID, « Evolución y retos de la Siembra-Directa en Argentina », Santiago Nocelli Pac, 2017. Url : <https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/2018/03/Evolucio%CC%81n-y-retos-de-la-Siembra-Directa-en-Argentina.pdf>. Consulté le 26/07/2022.

Alkemade R., van Oorschot M., Miles L., Nellemann C., Bakkenes M., ten Brink B., « GLOBIO3 : A framework to investigate options for reducing global terrestrial biodiversity loss », *Ecosystems*, 2009, 12 (3), 374-390.

ANSES, « Premières interprétations des résultats de la Campagne Nationale Exploratoire des Pesticides (CNEP) dans l'air ambiant. Rapport d'appui scientifique et technique révisé », 2020 – Auto-saisine n° 2020-SA-0030. Url : <https://www.anses.fr/fr/content/pesticides-dans-l%E2%80%99air-ext%C3%A9rieur-l%E2%80%99anses-identifie-les-substances-n%C3%A9cessitant-une-%C3%A9valuation> Consulté le 26/07/2022.

de la Rosa D., Moreno J. A., Mayol F., Bonsón T., « Assessment of soil erosion vulnerability in western Europe and potential impact on crop productivity due to loss of soil depth using the ImpelERO model », *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2000, 81 (3), 179-190.

den Biggelaar C., Lal R., Wiebe K., Breneman V., « The global impact of soil erosion on productivity », *Advances in Agronomy*, 2003, 81, 1-48.

Diaz R. J., Rosenberg R., « Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems », *Science*, 2008, 321 (5891), 926-929.

Evans D. L., Quinton J. N., Davies J. A. C., Zhao J., Govers G., « Soil lifespans and how they can be extended by land use and management change », *Environmental Research Letters*, 2020, 15 (9), 0940b2.

FAO, « The state of food and agriculture 2017 - Leveraging food systems for inclusive rural transformation », 2018. Url : <https://www.fao.org/3/i7658f/i7658f.pdf>. Consulté le 18/10/2021.

FAO, « World Food and Agriculture - Statistical Yearbook » 2020. Rome. Url : <https://www.fao.org/3/cb1329en/CB1329EN.pdf>. Consulté le 12/05/2021.

Garibaldi L. A., Carvalheiro L. G., Vaissière B. E., Gemmill-Herren B., Hipólito J., Freitas B. M., Ngo H. T., Azzu N., Sáez A., Åström J., An J., Blochtein B., Buchori D., Chamorro García F. J., Oliveira da Silva F., Devkota K., Márcia de Fátima Ribeiro L. F., Goss M., Piedade Kiill L. H., ... Zhang H., « Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms », *Science*, 2016, 351 (6271), 388-391.

Harchaoui S., Chatzimpiros P., « Energy, nitrogen, and farm surplus transitions in agriculture from historical data modeling. France, 1882-2013 », *Journal of Industrial Ecology*, 2019, 23 (2), 412-425.

Hossard L., Guichard L., Pelosi C., Makowski D., « Lack of evidence for a decrease in synthetic pesticide use on the main arable crops in France », *Science of the Total Environment*, 2017, 575, 152-161.



IPBES, « Global assessment report of the Inter-governmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services », Brondízio E. S., Settele J., Díaz S., Ngo H. T. (Eds). IPBES secretariat, 2019, Bonn, Germany. 1144 pp. Url : <https://ipbes.net/global-assessment>. Consulté le 27/07/2022.

Kaiser J., « Wounding Earth's Fragile Skin ». *Science*, 2004, 304, 1616-1618.

Ladha J. K., Pathak H., J. Krupnik T., Six J., van Kessel C., « Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production : retrospects and prospects », *Advances in Agronomy*, 2005, 87, 85-156.

Lal R., « Soils and food sufficiency. A review », *Agronomy for Sustainable Development*, 2009, 29, 113-133.

Martin E. A., Dainese M., Clough Y., Báldi A., Bommarco R., Gagic V., Garratt M. P. D., Holzschuh A., Kleijn D., Kovács-Hostyánszki A., Marini L., Potts S. G., Smith H. G., Al Hassan D., Albrecht M., Andersson G. K. S., Asís J. D., Aviron S., Balzan M. V., ... Steffan-Dewenter I., « The interplay of landscape composition and configuration : new pathways to manage functional biodiversity and agroecosystem services across Europe », *Ecology Letters*, 2019, ele.13265.

Mazoyer M., Roudart L., *Histoire des agricultures du monde : du néolithique à la crise contemporaine*, Paris, Seuil, 1997.

Mota-Sanchez D., Bills S. P., Whalon M. E., « Arthropod resistance to pesticides : Status and overview ». In W. Wheeler and B. Gainesville (Eds.), *Pesticides in agriculture and the environment*, Marcel Decker, New York, NY., 2002, pp. 241-272.

Pelosi C., Bertrand C., Daniele G., Coeurdassier M., Benoit P., Néliou S., Lafay F., Bretagnolle V., Gaba S., Vulliet E., Fritsch C., « Residues of currently used pesticides in soils and earthworms : A silent threat ? » *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2021, 305, 107167.

Spielman D. J., R. Pandya-Lorch (Eds.), *Millions fed : proven successes in agricultural development*, International Food Policy Research Institute, Washington, 2009.

Wood D., J.-M. Lenné (Eds.), *Agrobiodiversity Management for Food Security: A Critical Review*. CAB International, Wallingford, 2011.

World Bank, « Enabling the Business of Agriculture 2017 ». Washington, DC: World Bank, 2017. Url : <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/25966>. Consulté le 26/07/2022.